

EFFECTO DEL ENCALADO Y LA FERTILIZACION NPK DE *Brachiaria Decumbens* SOBRE  
LA POBLACIÓN DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (HMA) DEL SUELO

IVÁN ANDRÉS BARRAGÁN O.

DANIEL OSORIO SERRATO

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

2018

EFFECTO DEL ENCALADO Y LA FERTILIZACION NPK DE *Brachiaria Decumbens* SOBRE  
LA POBLACIÓN DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (HMA) DEL SUELO

IVÁN ANDRÉS BARRAGÁN O. Código 111003002

DANIEL OSORIO SERRATO Código 111003225

Proyecto de Tesis presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

Directora: DRA. AMANDA SILVA PARRA

Docente Universidad de los Llanos

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES  
INGENIERIA AGRONOMICA  
VILLAVICENCIO

2018

Nota de aceptación

---

---

---

---

**Dra. Amanda Silva Parra**  
**Directora**

---

**Ing. Sergio David Parra**  
**Jurado**

---

**Ing. Jorge Alberto Rangel**  
**Jurado**

**Villavicencio, noviembre de 2018**

## AGRADECIMIENTOS

### **IVAN ANDRES BARRAGAN O.**

Agradezco a mi Familia por su compañía en este proceso y facilitar la oportunidad de seguir mis estudios, a mi madre por su paciencia y comprensión, a la Doctora Amanda Silva por su guía y sabiduría, a mi compañera Sindy Barreiro por su presencia incondicional y finalmente a los compañeros Jorge, Jhon, Alex, Esteban, Bayrón, Jhon P, Marisol y especialmente a Daniel Osorio por la calidad de persona y un gran amigo.

### **DANIEL OSORIO SERRATO**

De ante mano agradezco a Dios por darme la vida y todas las facultades para llegar hasta este punto en mi vida. La realización de este trabajo solo fue posible gracias a nuestra directora, la Doctora Amanda Silva quien con su extensa sabiduría ha sabido comprender y dirigirnos en este proceso. Le agradezco a mi familia por su apoyo incondicional al igual que a mi compañera, una mujer transparente y guerrera. Finalmente, a la Dirección de Investigaciones de la Universidad de los Llanos por el apoyo económico para realizar la presente investigación y a mis compañeros, especialmente a Marisol, Lorena, los muchachos y a Ivan, un gran profesional, excelente persona y amigo.

## DEDICATORIA

*A ti madre*  
**IVAN BARRAGAN**

A ti Flora, que llegas a este mundo sin pedirlo, pero a cambiarlo todo.  
A mis padres y hermanos a quienes les debo lo que soy.  
**DANIEL OSORIO SERRATO**

## Tabla de contenido

<b>Resumen .....</b>	<b>11</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>12</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>13</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>15</b>
OBJETIVO GENERAL.....	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>Marco teórico .....</b>	<b>16</b>
GENERALIDADES.....	16
<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>20</b>
UBICACIÓN .....	20
CONDICIONES DEL SUELO .....	20
DISEÑO EXPERIMENTAL .....	20
DISEÑO ESTADÍSTICO.....	21
TAMAÑO DE LA PARCELA .....	22
MONTAJE Y SEGUIMIENTO DEL ENSAYO .....	22
<i>Extracción de esporas de HMA</i> .....	22
<i>Conteo de esporas</i> .....	23
<i>Análisis estadístico</i> .....	25
<b>Resultados.....</b>	<b>26</b>
ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	26
EFECTO DE DIFERENTES DOSIS DE CARBONATO DE CALCIO (CaCO <sub>3</sub> ) SOBRE EL CONTENIDO DE HMA EN SUELOS DE GANADERÍA EN EL PIEDEMONTE LLANERO .....	28

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NPK SOBRE EL CONTENIDO DE HMA EN SUELOS DEL PIEDEMONT E LLANERO .....	29
EFFECTO DE LAS PASTURAS*FERTILIZANTES SOBRE EL CONTENIDO DE HMA EN SUELOS DE GANADERÍA EN EL PIEDEMONT E LLANERO.....	31
EFFECTO DE DIFERENTES DOSIS DE CAL*FERTILIZANTES SOBRE EL CONTENIDO DE HMA EN SUELOS DE GANADERÍA EN EL PIEDEMONT E LLANERO.....	33
<b>Discusión.....</b>	<b>35</b>
EFFECTO DE PASTURAS SOBRE EL CONTENIDO DE HMA EN SUELOS DEL PIEDEMONT E LLANERO .	35
EFFECTO DE DIFERENTES DOSIS DE CARBONATO DE CALCIO (CaCO <sub>3</sub> ) SOBRE EL CONTENIDO DE HMA EN SUELOS DEL PIEDEMONT E LLANERO .....	37
EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NPK SOBRE EL CONTENIDO DE HMA.....	39
EFFECTO DE LAS PASTURAS*FERTILIZANTES SOBRE EL CONTENIDO DE HMA .....	41
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>43</b>
<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## Lista de tablas

Tabla 1. Aptitud productiva de los suelos de la orinoquia. ....	13
Tabla 2 Dosis de encalado (Tn/Ha).....	20
Tabla.3 Fertilizantes y dosiso (kn/Ha) .....	21
Tabla.4.Diseño estadístico .....	21
Tabla 5 Tamizes usados en la extracción.....	23
<b>Tabla 6.</b> Análisis de varianza de los diferentes factores evaluados .....	26
Tabla 7. Text de Tukey para la variable PASTURAS. Efecto de la pastura sobre contenido de HMA en suelos de ganadería .....	27
Tabla 8. Text de Tukey para la variable DOSIS CAL. Efecto de la dosis de cal sobre el contenido de HMA en el suelo .....	28
<b>Tabla 9.</b> Text de Tukey para la variable FERTILIZANTE. Efecto de la aplicación de fertilizantes NPK sobre el contenido de HMA en el suelo .....	29
<b>Tabla 10.</b> Text de Tukey para la variable PASTURAS*FERTILIZANTE. Efecto de la aplicación de fertilizantes NPK sobre pastos solos y asociados a leguminosas, en el contenido de HMA en el suelo. ....	31
Tabla 11.Text de Tukey para la variable DOSIS CAL*FERTILIZANTE. Numero de micorrizas promedio por dosis de cal y fertilización.....	33
<b>Tabla 12</b> Medias reales del contenido de HMA/ gr de suelo según tres dosis de $\text{CaCo}_3$ y un testigo .....	34



## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Efecto de la pastura sobre el contenido de HMA/gr suelo .....	27
<b>Figura 2.</b> Efecto de diferentes dosis de cal sobre el contenido de HMA en el suelo, en cultivos de pastos <i>Brachiaria decumbens</i> . ....	28
<b>Figura 3.</b> Efecto de LA FERTILIZACIÓN sobre el contenido de HMA en el suelo, en potreros con pastos <i>Brachiaria decumbens</i> . ....	30
<b>Figura 4.</b> Efecto de PASTURAS*FERTILIZANTES sobre el contenido de HMA en el suelo, en potreros con pastos <i>Brachiaria decumbens</i> .....	32
<b>Figura 5.</b> Efecto de DOSIS $\text{CaCO}_3$ *FERTILIZANTES sobre el contenido de HMA en el suelo, en potreros con pastos <i>Brachiaria decumbens</i> .....	34

## Lista de imágenes

<b>Imagen 1.</b> Esquema del procedimiento en laboratorio para la extracción de micorrizas arbusculares .....	24
<b>Imagen 2.</b> Micorriza aislada en laboratorio comparada con estructura de micorriza del genero <i>Glumus macroscarpum</i> aislada en el departamento del Guaviare .....	39

## Resumen

El objetivo general de la presente investigación fue evaluar el efecto del encalado aplicando cuatro dosis de cal: D1 (sin cal), D2 (1,1 t/ha cal), D3 (2,2 t/ha cal), D4 (3,3 t/ha cal) y fertilizando con N, P y K en pasturas *Brachiaria decumbens* sola (B1) y asociada con la leguminosa *Pueraria phaseoloides* (B2) con el fin de hacer más eficiente la disponibilidad del P, sobre la acción de hongos micorrízicos arbusculares HMA en un suelo ácido tropical de la zona de Cumaral, Piedemonte Llanero. Para el conteo de micorrizas o número de HMA (número de HMA/g de suelo) se aplicó la metodología de Soteras *et al.* (2016). Se logró determinar por el análisis de variancia que no hubo efecto de los factores de producción tipo de pastura, y la dosis de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) a nivel del 95 y 99% de probabilidad, pero sí de la fuente fertilizante N, P, K, siendo que con la aplicación de Superfosfato triple (SPT) se logró el mayor número de HMA que con K (KCl), N (Urea) con cloruro de potasio (KCl) el número de HMA estadísticamente fue similar ( $P \geq 0.05$ ). Los efectos dobles pastura\*dosis de cal; pastura\*fuentes fertilizante N, P, K; dosis de cal\*fertilizante mostraron diferencias significativas a nivel del 95% de probabilidad según análisis de variancia. Las dosis de cal más altas D3 y D4 tanto en B1 como en B2 incrementaron el número de HMA; B2 logró efficientizar el uso del P ya que incrementó el número de HMA, que con N y K; la dosis de cal media D3 logró efficientizar el uso del fertilizante SPT en el número de HMA. Mejorar los factores de producción como son incorporación de leguminosas en pasturas de *B. decumbens* interactuando con la dosis media de cal D3 y el uso del fertilizante SPT permitió aumentar los HMA del suelo, siendo factores que pueden recomendarse en la zona de estudio para mejorar la sostenibilidad de los sistemas ganaderos.

Palabras claves: *Brachiaria decumbens*, *Pueraria phaseoloides* Piedemonte llanero, hongos micorrízicos arbusculares, cloruro de potasio, Superfosfato triple (SPT), Urea, Sistemas ganaderos

## Abstract

The general objective of the present investigation was to evaluate the effect of liming due to four doses of lime: D1 (without lime), D2 (1.1 t / ha lime), D3 (2.2 t / ha lime), D4 ( 3.3 t / ha lime) and fertilization with N, P and K in *Brachiaria decumbens* alone (B1) and associated with the legume *P. phaseoloides* (B2) in order to increase the availability of P, on the action of Fungi Mycorrhizal arbuscular FMA in a tropical acid soil of the Cumaral area, Piedmont Llanero. For the count of mycorrhizae or number of AMF (number of AMF / g of soil), the methodology of Soteras et al. (2016) was applied. Differences on HMA was determined by the analysis of variance that there no showed effect of the pasture type and the dose of lime production factors at the 95 and 99% probability level, but showed effect of the N, P, K fertilizer source, being that with the application of SPT the highest number of AMF was achieved that with K ( $P \leq 0.05$ ); N (Urea) and K with potassium chloride (KCl), the number of AMF was statistically similar ( $P \geq 0.05$ ). The double effects pasture \* dose of lime; pasture \* N, P, K fertilizer source; doses of lime \* fertilizer showed significant differences at 95% probability level according to analysis of variance. Higher doses of lime D3 and D4 in both B1 and B2 increased the number of AMF; B2 managed to make the use of P more efficient since it increased the number of AMF, than with N and K; the average dose of lime D3 managed to make the use of the SPT fertilizer more efficient on the AMF number. Improving production factors such as incorporation of legume of *P. phaseoloides* in pastures of *B. decumbens* interacting with the average dose of lime D3 and the use of SPT fertilizer allowed to increase the AMF of the soil, being factors that can be recommended in the study area to improve the sustainability of the livestock systems.

Keys Words: *Brachiaria decumbens*, *Pueraria phaseoloides*, Piedmont Llanero, Fungi Mycorrhizal arbuscular, potassium chloride, Urea, triple super phosphate (TSP). livestock systems.

## 1. Introducción

Cumaral se encuentra ubicado sobre el piedemonte de la Cordillera Oriental en los Andes colombianos, este sector tiene potencial agrícola y pecuario, en la tabla 1 se muestra la aptitud de uso del suelo para las subregión del piedemonte; en las áreas dedicadas a la ganadería se observa baja fertilidad y bajo contenido de fósforo asimilable por las plantas, por lo que los rendimientos de pastos se ven limitados (Romero & Márquez, 2002)

**Tabla 1.** Aptitud productiva de los suelos de la orinoquia en la zona de estudio.

SUELOS	CLASE	AREAS (Ha)	%
Piedemonte	Agricultura comercial y ganadería extensiva	200.000	0,7
	Ganadería extensiva, reforestación o conservación de la vegetación natural	453.775	1,7
Total		653. 775	2,4

Fuente: (Riveros, 1983)

Los suelos de las terrazas del piedemonte de la Orinoquia tienen predominantemente altos contenidos de arcillas, pH ácidos o ligeramente ácidos, saturación de aluminio media-alta, bases intercambiables media-baja, capacidad de intercambio catiónico (CIC) media y fósforo (P) aprovechable bajo (Corpoica, 2002). Gran parte de la producción de pasturas de *Brachiaria decumbens* adaptadas a suelos ácidos en el Piedemonte Llanero están establecidas en suelos ácidos con pH= 5.5 y altos contenidos de Al intercambiable y deficiencias en P. Siendo que las gramíneas tropicales son igual o más dependientes de las micorrizas que las especies de leguminosas cuando crecen en suelos de baja fertilidad (CIAT, 1984), se requieren altas dosis de fertilizantes a base de N, P y K, para suplir satisfactoriamente las deficiencias nutricionales en todo su ciclo, principalmente a problemas de acidez (Boby, Balakrishna, & Bagyaraj, 2008)

El Al+++ es un elemento que afecta directamente a las pasturas, interfiriendo en la absorción de nutrientes esenciales principalmente el P (Sánchez & Salinas, 2008). En particular, la poca

disponibilidad del fósforo se debe a la fijación resultado de la reacción entre el fósforo y otros compuestos de aluminio (Al) y hierro (Fe), principalmente hidróxidos y óxidos y con arcillas de tipo Caolinitico (CIAT, 1981), que además generan capas endurecidas y cementadas que limitan la profundidad efectiva y disminuye la capacidad del almacenamiento de agua (Riveros, 1983). Por otra parte, las condiciones de los suelos no se deben solamente a factores abióticos como la acidez o la poca capacidad de intercambio catiónico, la productividad de los suelos está relacionada con la susceptibilidad a la erosión, la presencia de materia orgánica, textura, factores bióticos como la variabilidad de microorganismos como bacterias y hongos o líquenes. Debido a esto, son varios los factores que se deben tener en cuenta para establecer un cultivo en zonas de pastoreo.

El pH del suelo juega un papel importante en la fertilidad de los cultivos, a medida que aumenta el pH, se incrementa la necesidad de realizar correcciones “encalar” (INPOFOS, 1997). Esta es una práctica muy habitual en la zona de estudio, en la cual se presentan fuertes precipitaciones, según el IDEAM entre 4.000 y 5.000 mm anuales en la zona de piedemonte, las cuales ocasionan el lavado de elementos como el calcio (Ca) y el magnesio (Mg), y permite que sus posiciones sean ocupadas por elementos ácidos como el Aluminio ( $Al^{+++}$ ), el hidrogeno ( $H^{+}$ ) y el manganeso (Mn) (INPOFOS, 1997). Las micorrizas, por otro lado, se encuentran distribuidas de manera universal, por lo que existen ecotipos que se adaptan a condiciones extremas (Perez, Rojas, & Montes, 2011), encontrándose ampliamente distribuidas en condiciones naturales en todos los continentes, exceptuando la Antártida. En la zona de estudio no se han realizado trabajos relacionados con el efecto de los factores de producción de *B. decumbens*, como la incorporación de leguminosa de *P. phaseoloides* en la pastura dosis de cal y fertilización con fuentes de N, P, y K sobre el número de HMA, con el fin de su optimización para mejorar la sostenibilidad de los sistemas ganaderos, en suelos deficientes en P.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Evaluar el efecto de dosis de encalado y fuentes de fertilizantes N, P, K en *Brachiaria decumbens* sobre la acción de los hongos micorrízicos arbusculares HMA del suelo en Cumaral, Piedemonte Llanero.

### **2.2 Objetivos específicos**

- I. Cuantificar la producción de esporas de HMA por efecto de dos tipos de pastura *Brachiaria decumbens* y asociada con leguminosa *Pueraria phaseoloides*, mediante diferentes dosis de encalado y fuentes fertilizantes de N, P y K.

### 3. Marco teórico

#### 3.1 Generalidades

Los Llanos Orientales en Colombia cubren un área de 25,3 millones de hectáreas. Según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2018), de las más de 25,3 millones que conforman los departamentos de Arauca, Casanare, Meta y Vichada, 9,4 millones tienen suelos para algún tipo de producción (37,1% de la Orinoquia), aunque no solo ganadera. Del total de hectáreas donde se debe centrar la producción “llanera”, solo el 15,9% corresponde a suelos y tierras que tienen una vocación pecuaria; es decir que 4,02 millones de hectáreas son aptas para el ganado, lo que equivaldría a un territorio similar a Casanare, Cauca o Nariño. Los pastos mejorados constituyen una herramienta para incrementar la oferta de forraje por unidad de superficie y tiempo y, consecuentemente, la producción animal. Los Llanos Orientales está constituido por los departamentos de Arauca, Casanare, Meta y Vichada el 37,1% de los suelos se destina a algún tipo de producción, de ellos el 15,9% corresponde a suelos y tierras de vocación pecuaria (IGAC, 2018).

Por otro lado, (Romero & Márquez, 2002) sostienen que el fósforo es un elemento básico en la nutrición vegetal ya que forma compuestos energéticos como el ATP, que es indispensable para la síntesis de proteínas, almidón y grasas en las plantas, motivo por el cual el pasto *B. decumbens* debe tener una oportuna y eficaz fertilización fosfatada. La acelerada acidificación de muchos suelos de los trópicos bajo el esquema del mejoramiento de las pasturas basadas en nitrógeno, fósforo y potasio se observa en muchas partes del mundo, por ejemplo el N puede alcanzar hasta 400 kg N ha<sup>-1</sup> año en pasturas de alta producción, y una baja eficiencia con elevadas pérdidas de N (hasta 200 kg N ha<sup>-1</sup>) (West & Mallarino, 1996).



La condición de insuficiencia fosfórica en los suelos regionales hace pensar en nuevas formas de proporcionar el fósforo necesario para un buen desarrollo de las plantas de *Brachiaria sp.*, que vayan más allá de las aplicaciones rutinarias de fertilizantes químicos que se pierden de diferentes maneras en el campo y que además tienen cierto impacto en el suelo, si no que utilicen el fósforo ya presente en el suelo retenido por las arcillas.

Son extensas las investigaciones que se han realizado en relación con la mediación de los HMA en la solubilización del fosforo (Yong, Smith, & Smith, 2003), debido a que es un macronutriente esencial para las plantas ya que se encuentra en concentraciones muy bajas en la solución del suelo (CIENCIA ergo sum, 2007). En este sentido, las hifas de las micorrizas ocasionan un incremento del área de absorción y la exploración de un volumen mayor de suelo (CIENCIA ergo sum, 2007). Del mismo modo, las micorrizas arbusculares no solamente translocan fosforo al interior de la planta, según (Marschner & Dell, 1994) las hifas externas de los hongos MA, pueden absorber y translocar otros elementos como el N, K, Ca, Mg, Si, Cu, Zn, B y Fe.

Sin embargo, existen aún brechas y vacíos en cuanto al conocimiento de fuentes enalantes y fertilizantes que mejoren la producción de HMA en *Brachiaria decumbens* o asociada con la leguminosa *P. phaseoloides* en suelos ácidos, al respecto, altos niveles de fósforo y bajos de nitrógeno en el suelo pueden inhibir la cantidad de HMA (Clark, Zobel, & Zeto, 1999), por lo que es necesario mantener un equilibrio en la relación P/N. Para lograrlo es necesario el uso de microorganismos fúngicos como los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA), estos realizan una simbiosis con la planta, es decir una relación de ayuda nutricional entre los dos organismos (planta-hongo) con un flujo en las dos direcciones de nutrimentos (Ferro, Barea, & Azcon, 2002), citado por (Fariás & González, 2005).

A pesar del amplio conocimiento adquirido sobre esta simbiosis en pasturas de *Brachiaria*, aún hay procesos que intervienen con los factores de producción y pueden influir en la colonización de la raíz por los HMA que son desconocidos, relacionados principalmente con la baja disponibilidad de P en suelos ácidos del trópico, y que optimizando estos factores de producción lograrían mejorar la productividad de las mismas. Las deficiencias de este elemento en las gramíneas como el pasto *B. ruziziensis* y en *B. humidicola*, empieza con una clorosis y una coloración rojiza en las hojas más viejas (CIAT, 1981). Según el (CIAT, 1981) en todas las especies es común observar el color rojizo que se torna púrpura y que continúa con la necrosis del tejido la cual avanza desde el ápice hacia el tallo.

### **3.2 Importancia de los Hongos Micorrízicos Arbusculares en las pasturas**

Los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) es uno de los componentes de los ecosistemas naturales, representan entre el 5 a 50% de la biomasa de los microbios del suelo y son considerados como una comunidad biológica diversa y activa esencial para incrementar la sostenibilidad de los agroecosistemas. (Perez & Vertel, 2010).

Los hongos micorrízicos representan las simbiosis de mayor relevancia en los sistemas agroecológicos, esto se debe a que los suelos poseen naturalmente una diversidad de especies de micorrizas, que pueden colonizar las raíces de la mayoría de las plantas cultivadas, independientemente de las condiciones ambientales, mejorando así el suministro de nutrientes, crecimiento y producción de las plantas hospederas especialmente en condiciones de nutrientes deficientes. Las pasturas deben poseer una recuperación rápida después que los animales herbívoros la desfolien, es por esta razón que según (Pérez, Espitia, & Martínez, 2012) la asociación de HMA con distintas especies de gramíneas favorece la absorción, translocación y

transferencia de los nutrientes y agua por la planta y que el principal nutriente implicado es el fósforo.

Además, se ha demostrado que estos HMA mejoran la producción, la calidad nutricional e incrementan la tolerancia de las especies de pastos al pisoteo, debido al suministro de nutrientes hacia la planta, los cuales estimulan al rebrote continuo y a la recuperación rápida (Perez & Vertel, 2010).

El manejo de las asociaciones micorrízicas puede ser una alternativa efectiva para mejorar la productividad de los pastizales, pues los beneficios de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en estos agroecosistemas están estrechamente relacionados con un mejor aprovechamiento de los nutrientes y el agua del suelo mediante complejas interacciones que se establecen entre las estructuras de estos microorganismos y las raíces de las plantas hospederas, las asociaciones se puede lograr con los propios HMA nativos o con la introducción de cepas seleccionadas (Flores, Gonzales, Arzola, & Morgan, 2010), en dependencia de su adaptación a las condiciones del sistema suelo-planta y de su eficiencia para producir una respuesta agronómica y económicamente viable.

Sin embargo, cuando los pastos poseen bajos niveles de colonización micorrízica o las poblaciones nativas de HMA no son efectivas para producir los beneficios esperados, se puede mejorar el funcionamiento de la simbiosis mediante la inoculación de cepas previamente seleccionadas.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Ubicación

El proyecto se realizó en el municipio de Cumaral - Meta, con altitud de 452 msnm, temperatura promedio 21°C, distancia 26 km de la ciudad de Villavicencio, coordenadas geográficas 4°16'10``N y 73°29'11``O.

### 4.2 Condiciones del suelo

Los suelos de la zona estudiada están clasificados según la (USDA, 2014) como una mezcla entre Oxisoles y Ultisoles, con altos niveles de acidez (pH=4,5), bajos contenidos de Ca, Mg y P y alta concentración de Aluminio (3,1 cmol/kg).

### 4.3 Diseño experimental

Los factores a evaluar son:

- 1) Factor A que correspondió a tipos de pastura correspondiente a:

B1: *Brachiaria decumbens*

B2: *B. decumbens* asociada a *Pueraria phaseoloides*

- 2) Factor B que correspondió a dosis de CaCO<sub>3</sub>

Corresponde a la aplicación de dosis de encalado:

**Tabla 2.** Dosis de encalado

Dosis de Cal	Cantidad tn/ha
D1	0
D2	1,1
D3	2,2
D4	3,3

Fuente: Elaboración Propia

La ecuación que se usó para definir la dosis fue:

$$CaCO_3 \text{ t ha}^{-1} = 1.8 \times (Al - (RAS (Al + Ca + Mg)) / 100)$$

RAS o porcentaje de saturación de aluminio tolerable por el cultivo correspondió al 25%.

3) Factor C que correspondió a fuentes de fertilización N, P, K.

**Tabla.3.** Fertilizantes y dosis (kg/Ha)

Fertilizante	Cantidad Kg/ha
Urea	100
Superfosfato Triple	200
Cloruro de Potasio	100

Fuente: Elaboración Propia

Corresponde a las fuentes N, P y K. Urea en dosis de 100 kg/ha, SPT en dosis de 200 kg/ha, KCl en dosis de 100 kg/ha (Rincón, 2007).

#### 4.4 Diseño estadístico.

Se aplicó un diseño estadístico en bloques completos al azar BCA con 4 (dosis de cal) x 3 (fuente fertilizante) x 3 (repeticiones) para un total de 36 unidades experimentales. El análisis de variancia de acuerdo con el esquema fue de la siguiente manera:

**Tabla.4.** Diseño estadístico

Fuentes de variación	GL
Tratamientos	11
Bloques	2
Error	23
Total	36

Fuente: Elaboración Propia

#### **4.5 Tamaño de la parcela**

Cada unidad experimental fue de 20 m<sup>2</sup> (4 x 5 m), para un área total de 720 m<sup>2</sup>. Para efectos de muestreos se tendrá en cuenta un área útil de 12 m<sup>2</sup> (3 x 4 m), para evitar el efecto de bordes.

#### **4.6 Montaje y seguimiento del ensayo**

La aplicación de los tratamientos de encalado y fertilizantes en las dosificaciones sugeridas se realizó al voleo sobre cada una de las unidades experimentales en pasturas ya establecidas de la zona. Se realizó seguimiento del ensayo durante los tres meses siguientes cada 15 días para un total de 6 visitas, se realizará manejo integral de plagas y enfermedades (Calle et al., 2014).

Se realizó un muestreo inicial de todo el lote, para determinar la cantidad de HMA al inicio del proyecto (testigo: D1).

#### **4.7 Extracción de esporas de HMA**

Se empleó el método de extracción y separación de esporas del suelo, utilizando un gradiente de concentración de azúcar al 60%. La extracción y separación de esporas del suelo se realizó siguiendo la metodología aplicada por Soteras et al. (2016), utilizando un gradiente de concentración de azúcar al 60%. Se realizaron algunas modificaciones al procedimiento debido al tamaño de los tamices:

- Tomar la muestra de suelo de cada parcela mediante un palín a diez cm de profundidad más o menos. Guardarla en bolsa marcada y luego en una nevera a 4° C hasta realizar la extracción de las esporas.
- Pesar 100 gr de suelo
- Llevar el suelo a un recipiente y completar el volumen hasta 1000 ml.
- Agitar durante 20 minutos

- Pasar por los tamices:

**Tabla 5.** Tamizes usados en la extracion

N° de Tamiz	Medida
14	140 mm
40	425 $\mu$
325	45 $\mu$
400	38 $\mu$

Fuente: Elaboración Propia

- Se recolecta el material de los tamices N° 325 y 400 en un vaso precipitado.
- En tubos de ensayo para centrífuga se deposita el material recolectado hasta llegar a un volumen de 7.5 ml. El resto del volumen, se completa con solución de azúcar al 60%.
- Los tubos se llevan a la centrífuga durante 7 minutos a 3000 rpm.
- El sobrenadante se recupera y se vierte una vez más sobre los tamices N° 325 y 400. Posteriormente se lava el azúcar con agua destilada.
- Finalmente se colecta el contenido de ambos tamices en un vaso precipitado de 100 ml. Se completa el volumen hasta 40 ml con agua destilada si es necesario, marcarlo y guardarlo en la nevera a 7° C.

#### 4.7.1 Conteo de esporas

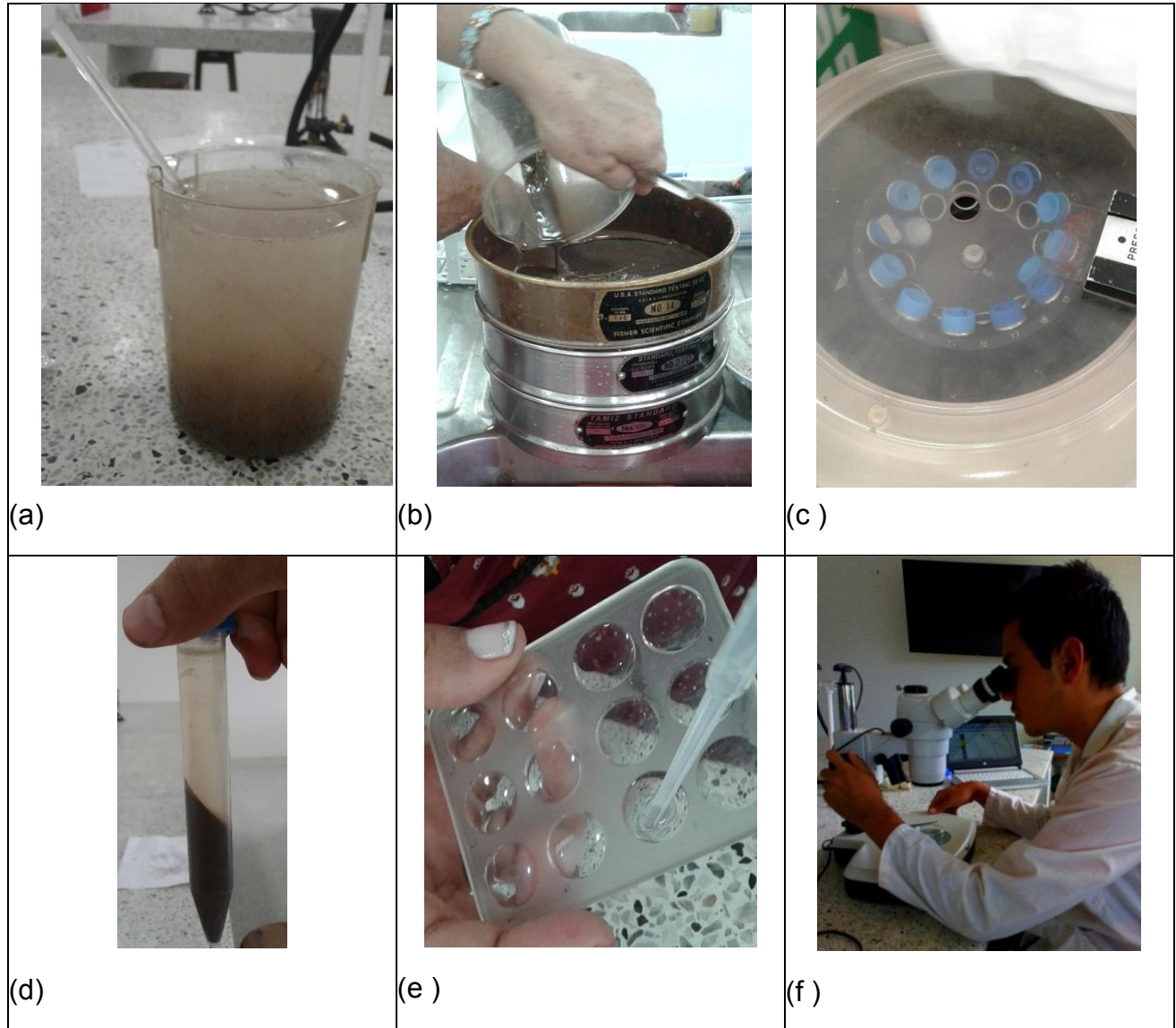
Los implementos de laboratorio fueron: Microscopio, estereoscopio, asa, y láminas de conteo, los procedimientos a seguir fueron:

Se toma 1 ml de muestra agitada y se colocan en los orificios de la lámina.

El primer conteo se realiza en el estereoscopio y luego se lleva al microscopio.

De cada muestra se deben realizar tres conteos para que sea significativo el promedio.

**Imagen 1.** Esquema del procedimiento en laboratorio para la extracción de micorrizas arbusculares (a) Menear (b) Tamizar (c) Centrifugar (d) Lavado Azúcar (e) Lamina de conteo (f) Conteo Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia



#### **4.8 Análisis estadístico**

Las variables se analizaron mediante análisis de variancia a 95 y 99% de probabilidad, en caso de diferencias estadísticas altamente significativas se realizará prueba de comparación de medias mediante el test de tukey al 95% de probabilidad, los datos se correrán en el paquete estadístico INFOSTAT.

## 5. Resultados

### 5.1 Análisis de varianza

Mediante el análisis de varianza realizado a los datos se observa que los factores simples: pastura y dosis cal, no mostraron diferencias significativas ( $p>0,01$ ), esto indica que existe poca o ninguna relación entre estas variables y el aumento del número de esporas de HMA. Por el contrario, la variable fertilizante mostró diferencias al 99% ( $p<0,01$ ). Los factores dobles pastura\*fertilizante; pastura\*dosis cal, y dosis de cal\*fertilizante influyeron positivamente en el contenido de HMA, ya que mostró diferencias significativas en el contenido de esporas en el suelo ( $p<0,05$ ) o al 95%.

**Tabla 6.** Análisis de varianza de los diferentes factores evaluados

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>FCAL</b>
MODELO	6372,48	23	277,06	1,25
PASTURAS	120,42	1	120,42	0,54NS
DOSIS CAL	177,41	3	59,14	0,27NS
FERTILIZANTE	3281,86	2	1640,93	7,42**
PASTURA*DOSIS CAL	50,05	3	16,68	0,08*
PASTURA*FERTILIZANTE	341,32	2	170,66	0,77*
DOSIS CAL*FERTILIZANTE	1455,96	6	242,66	1,10*
PASTURA*DOSIS CAL*FERTILIZANTE	945,45	6	157,58	0,71NS
Error	15916,16	72	221,06	
Total	22288,64	95		

\*\* Altamente significativo 99%; \*Significativo 95%, NS No significativo; Fuente: Elaboración Propia

### 5.2 Efecto de pasturas sobre el contenido de HMA en suelos de ganadería en el Piedemonte llanero

A pesar de que no se mostraron diferencias por el efecto de las pasturas, los resultados obtenidos a partir de la metodología usada permitieron establecer que el contenido de esporas en el suelo mostró una tendencia a ser mayor cuando se asoció pasto + Kudzu (B2) (Tabla 7).

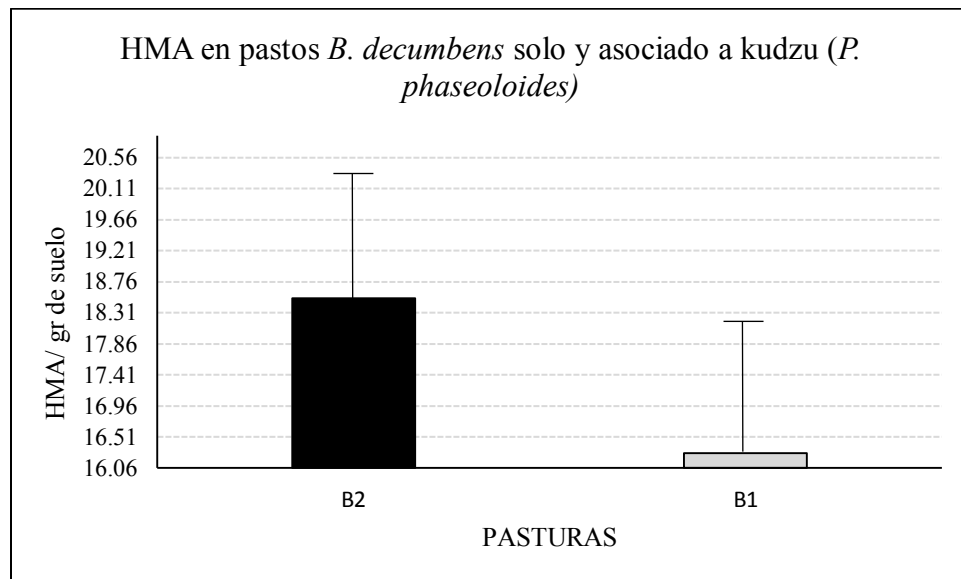
**Tabla 7.** Text de Tukey para la variable pasturas. Efecto de la pastura sobre contenido de HMA en suelos de ganadería.

PASTURA	Medias	N	E.E.
B2	18,52	48	2,15 A
B1	16,28	48	2,15 A

Medias con la misma letra no difieren al 95% de probabilidad ( $p \geq 0.05$ ). Fuente: Elaboración Propia

El tipo de pastura B2 mostró mejores resultados que en la pastura B1. En este caso, el Test de Tukey encontró que los tratamientos estadísticamente fueron similares, con medias de 18,52 y 16,28 HMA/gr suelo, el p-valor fue  $>0,05$  lo cual significa que la diferencia en los contenidos de HMA entre tratamientos, a pesar de ser mayor de dos esporas por gramo de suelo, fue muy estrecha (Figura 1).

**Figura 1.** Efecto de la pastura sobre el contenido de HMA/gr suelo



Fuente: Elaboración Propia

La Figura 1 muestra que la diferencia entre B1 y B2 fue de 2,15 HMA/gr suelo. Esta diferencia corresponde aproximadamente al 10% del contenido máximo del tratamiento B2.

### 5.3 Efecto de diferentes de dosis de cal sobre el contenido de HMA en suelos de ganadería en el Piedemonte llanero

**Tabla 8.** Test de Tukey para la variable dosis de cal. Efecto de la dosis de cal sobre el contenido de HMA en el suelo.

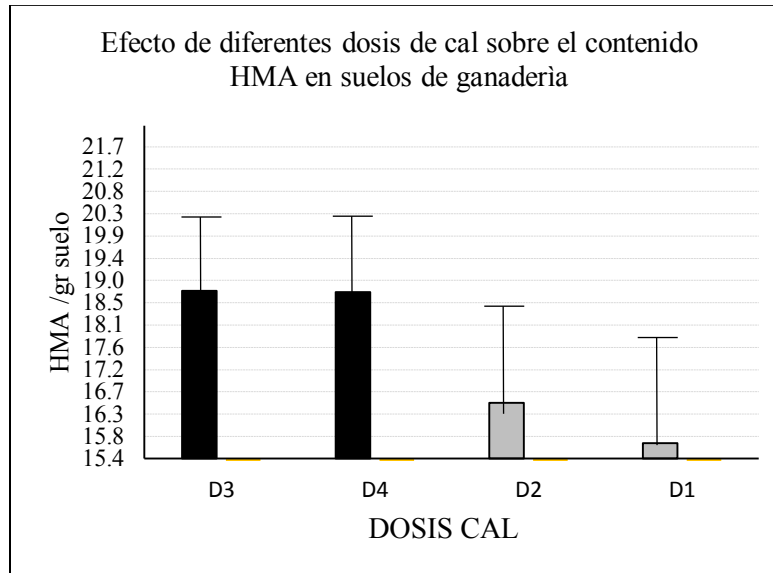
<b>Dosis</b>				
<b>Cal</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	
D3	18,74	24	3,03	A
D4	18,71	24	3,03	A
D2	16,48	24	3,03	A
D1	15,66	24	3,03	A

Medias con la misma letra no difieren al 95% de probabilidad ( $p \geq 0.05$ ). Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 3 se puede observar que el testigo (D1= 0,0 t/ha de Cal) fue el tratamiento con menos HMA/gr de suelo, presentó media de 15,66 esporas de HMA/gr suelo, lo cual era de esperar ya que es el tratamiento en el que no se realizó incorporación de Carbonato de Calcio al suelo. Este tratamiento junto a la dosis dos (D2=1.1 t/ha Cal), presentaron diferencias mínimas con los tratamientos D3 (D3=2.2 t/ha Cal) y D4 (D4=3.3 t/ha Cal), que mostraron medias según el Test de Tukey de 18,74 y 18,71 respectivamente.

El valor de  $p > 0,05$  indica que la aplicación de cal en estos suelos no mostro diferencia significativa en cuanto al aumento de HMA. Sin embargo, en las parcelas donde se realizó aplicación de cal en dosis más altas D3 y D4 se observó un aumento del número de esporas, (entre 1,0 y 3,0 esporas aproximadamente), con respecto a la D1 (Tabla 8).

**Figura 2.** Efecto de diferentes dosis de cal sobre el contenido de HMA en el suelo, en cultivos de pastos *Brachiaria decumbens*.



Fuente: Elaboración Propia

La Figura 2 ilustra claramente que los resultados se parten en dos bloques, las dosis D3 y D4 de cal y dosis D2 y D1, es claro que en las dos primeras, el resultado tiende a ser más elevado (18,7 HMA/g suelo) que las dosis más bajas. Así mismo, la dosis D3 fue la que mejor respuesta mostró en comparación con el control (D1), ya que se observa una diferencia de 3,08 esporas de HMA/gr de suelo, lo que corresponde a un 16% del contenido obtenido con D3.

#### 5.4 Efecto de la FERTILIZACIÓN NPK sobre el contenido de HMA en suelos del Piedemonte llanero

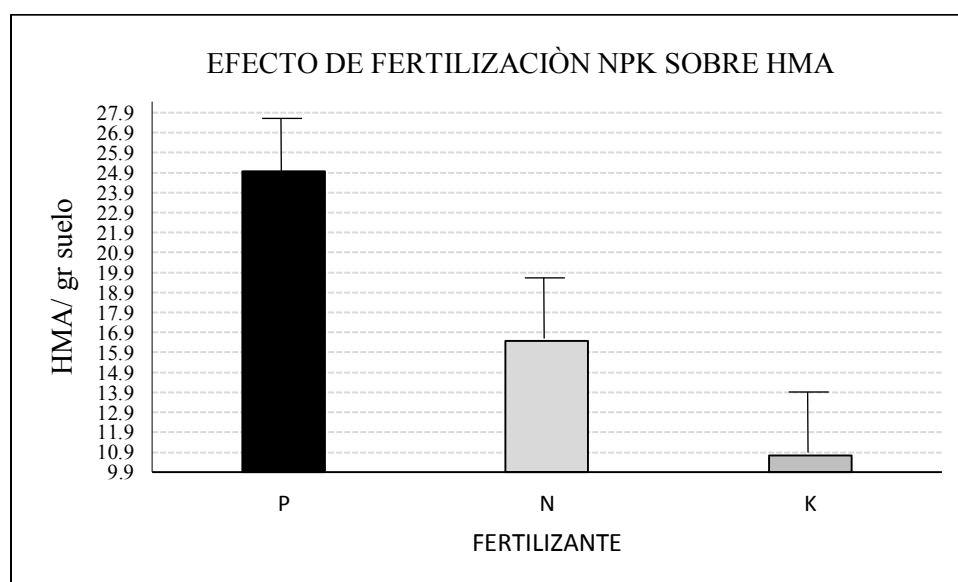
**Tabla 9.** Test de Tukey para la variable fertilizante. Efecto de la aplicación de fertilizantes NPK sobre el contenido de HMA en el suelo

FERTILIZANTE	Medias	N	E.E.	
P	24,98	32	2,63	A
N	16,47	32	2,63	A B
K	10,74	32	2,63	B

Medias con la misma letra no difieren al 95% de probabilidad ( $p \geq 0.05$ ). Fuente: Elaboración Propia

Los mayores conteos de esporas de HMA se obtuvieron a partir de las parcelas fertilizadas con fósforo, seguidas por las fertilizadas con nitrógeno y finalmente, los valores más bajos con Potasio. Las poblaciones respondieron bien a la fertilización fosfatada y supero en 14,24 HMA/ gr de suelo, al conteo con fertilización de potasio (Cloruro de potasio). Hubo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el contenido de esporas entre las parcelas fertilizadas con fosforo y con potasio.

**Figura 3.** Efecto de la fertilización N, P, K sobre el contenido de HMA en el suelo, en potreros con pastos *Brachiaria decumbens*.



Fuente: Elaboración Propia

El número de esporas obtenidas en las parcelas fertilizadas con N (Urea en dosis de 100 kg/ha = 16,47 HMA/gr suelo) sobrepaso al obtenido con la aplicación de K (10,74 HMA/gr suelo), pero fue inferior a los resultados obtenidos con fertilización de P (24,98 HMA/ gr suelo), lo que indica que HMA eficientiza más el fosforo que los otros elementos y los suelos responden positivamente a la aplicación de Superfosfato triple.

### 5.5 Efecto de las Pasturas\*Fertilizantes sobre el contenido de HMA en pasturas de *B. decumbens*

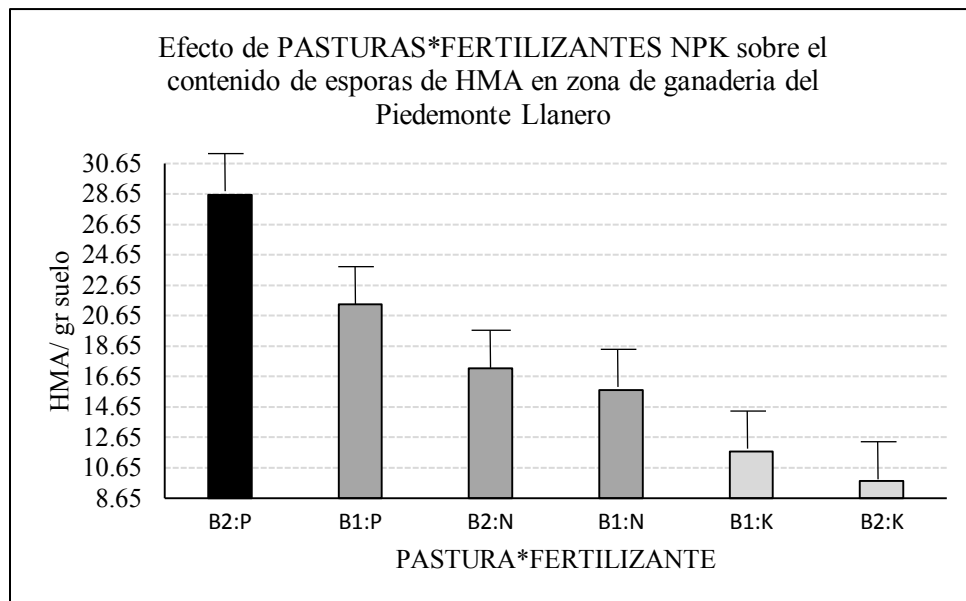
**Tabla 10.** Test de Tukey para la variable pasturas\*fertilizante. Efecto de la aplicación de fertilizantes NPK sobre pastura de *B. decumbens* sola (B1) y asociada a leguminosa de *P. phaseoloides* (B2), en el contenido de HMA en el suelo.

PASTURAS	FERTILIZANTE	Medias	n	E.E.	
B2	P	28,58	16	3,72	A
B1	P	21,38	16	3,72	A B
B2	N	17,2	16	3,72	A B
B1	N	15,74	16	3,72	A B
B1	K	11,71	16	3,72	B
B2	K	9,78	16	3,72	B

Medias con la misma letra no difieren al 95% de probabilidad ( $p \geq 0.05$ ). Fuente: Elaboración Propia

La fertilización fosfatada (Superfosfato triple: 200 Kg/ha) permitió obtener mejores resultados con los tratamientos de *B. decumbens* solo (B1) y *B. decumbens* asociado a *P. phaseoloides* (B2), del mismo modo, con N, sin diferencias entre tratamientos ( $P \geq 0,05$ ). Se observan diferencias significativas entre el número de esporas de HMA en B2 con fertilización P y K ( $P \leq 0.05$ ) (Tabla 10). Con el nitrógeno, los resultados indican que hubo más población en B2, aunque no hay diferencias con B1. La Figura 4 muestra que los tratamientos más diferentes fueron B2:P con B2:K.

**Figura 4.** Efecto de pasturas\*fertilizantes sobre el contenido de HMA en el suelo, en pasturas con pasto *Brachiaria decumbens*



Fuente: Elaboración Propia

Los contenidos hallados en las parcelas fertilizadas con fósforo y nitrógeno, fueron mayor cuando el pasto se asociaron a la leguminosa, ya que en ambos casos el tratamiento B2 obtuvo un mayor número de esporas de HMA (Figura 4, eje Y). En las parcelas fertilizadas con potasio, los tratamientos B1 y B2 mostraron resultados por debajo de 12 HMA/gr de suelo



## 5.6 Efecto de diferentes Dosis de Cal\*Fertilizantes sobre el contenido de HMA en suelos del Piedemonte llanero.

**Tabla 11.** Test de Tukey para la variable dosis cal\*fertilizante. Numero de HMA promedio por dosis de cal y fertilización N, P, K.

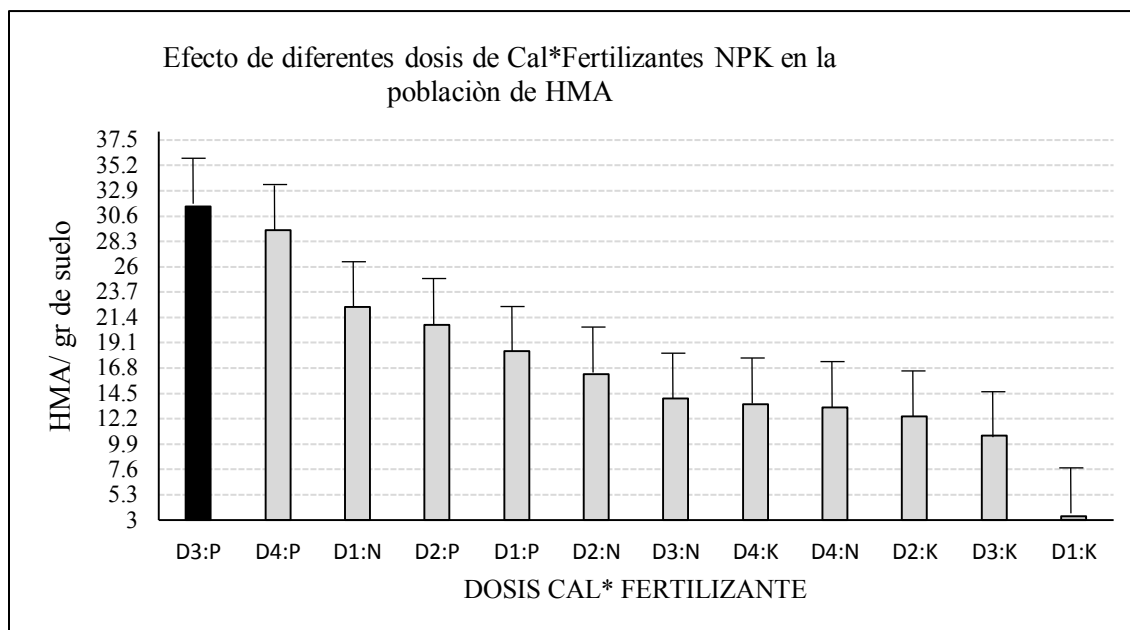
DOSIS de Cal	FERTILIZANTE	Medias	n	E.E.	
D3	P	31,48	8	5,26	A
D4	P	29,35	8	5,26	A B
D1	N	22,33	8	5,26	A B
D2	P	20,75	8	5,26	A B
D1	P	18,33	8	5,26	A B
D2	N	16,25	8	5,26	A B
D3	N	14,05	8	5,26	A B
D4	K	13,53	8	5,26	A B
D4	N	13,24	8	5,26	A B
D2	K	12,43	8	5,26	A B
D3	K	10,7	8	5,26	A B
D1	K	3,33	8	5,26	B

Medias con la misma letra no difieren al 95% de probabilidad ( $p \geq 0.05$ ). Fuente: Elaboración Propia

Las dosis de cal D3 en interacción con el P mostró el mejor resultado de todo el ensayo. De todos los tratamientos, el potasio mostró los menores contenidos de HMA, siendo diferente al anterior ( $P \leq 0.05$ ). El mayor contenido de HMA con aplicaciones de N, fue cuando no se realizó aplicación de Cal, es decir en el testigo D1 (Tabla 11 y Figura 5).

Por otro lado, se observan diferencias significativas entre los conteos en parcelas fertilizadas con K, siendo que con la dosis D1 o testigo el efecto es menor y con D3 y D2 de cal (2,2 t/ha y 1.1 t/ha, respectivamente) fue igual ( $P \geq 0.05$ ). Los resultados obtenidos en las parcelas fertilizadas con superfosfato triple mostraron que con D4, D2 y D1 fueron iguales ( $P \geq 0.05$ ), pero diferentes a D3, este resultado indica que es suficiente una dosis de cal media D3 para eficientizar el aprovechamiento del P del suelo en las pasturas evaluadas.

**Figura 5.** Efecto de dosis de cal\*fertilizantes sobre el contenido de HMA en el suelo, en potreros con pastos *Brachiaria decumbens*



Fuente: Elaboración Propia

### 5.7 Efecto de diferentes Dosis de Cal\*Pastura sobre el contenido de HMA en pasturas de *B. decumbens*.

En la tabla 12 se muestran los promedios de las dosis de cal según los dos tipos de pasturas: suelo con *B. decumbens* solo, y suelo sembrado con *B. decumbens* asociado a *P. phaseoloides*

**Tabla 12.** Medias del contenido de HMA/ gr de suelo en la interacción de dos tipos de pasturas y dosis de cal

Dosis de Cal	HMA/ gr de suelo	
	B1	B2
D1 (Testigo)	13,05A	16,10A
D2	16,70AB	17,20AB
D3	18,16B	19,31B
D4	17,16B	19,11B

Medias con la misma letra no difieren al 95% de probabilidad ( $p \geq 0.05$ ). Fuente: Elaboración Propia

La D3 de cal permitió contabilizar una mayor cantidad de HMA por gramo de suelo en las parcelas evaluadas tanto en B1, como en B2, siendo que en B2 fue mayor el número de HMA, pero sin diferencias estadísticas con D4. Lo cual indicaría que una dosis media de cal D3, lograría un efecto similar a la dosis más alta en estos suelos, y no sería necesario encalar con dosis elevadas. En los dos tipos de *B. decumbens*, sin asociar y asociados con las dosis más elevadas de cal, los conteos mostraron poblaciones promedio por encima de los 18 HMA/gr de suelo.

## **6. Discusión**

Los factores de producción como la incorporación de leguminosas, el encalado y la fertilización son importantes en la renovación de pasturas.

### **6.1 Efecto de pasturas sobre el contenido de HMA**

La evaluación realizada en los tratamientos *B. decumbens* (B1) y *B. decumbens* + *P. phaseoloides* (B2), permitió establecer que la diferencia en el número de esporas de HMA según los dos tratamientos fue mínima, ya que su diferencia fue de solo 2,0 HMA por gramos de suelo ( $P \geq 0,05$ ). En un estudio realizado en el piedemonte llanero, se cuantificó el número de esporas de HMA en suelos de un cultivo de cítricos con diferentes coberturas (Agrosavia, 2013) encontrando que por cada 100 gramos de suelo, en la cobertura con *B. dictyoneura* cv. Llanero, habían 300 esporas de HMA, con *B. brizantha* 169 esporas y con *Paspalum notatum* 243 esporas. Estos datos permiten comprobar que la infección de micorrizas sobre raíces de *B. decumbens* durante el presente ensayo

se encuentra entre los rangos anteriores, pues se promedió entre 16,0 y 18,0 esporas de HMA por gramo de suelo.

Por otro lado, los resultados obtenidos con la asociación gramínea + leguminosa (B2) mostró un promedio de 16,0 esporas HMA por gramo de suelo; los resultados mencionados son superiores a lo reportado por (Agrosavia, 2013) quienes reportan en una cobertura de cítricos con maní forrajero (*Arachis pintoi*) 73 esporas /100 gr de suelo en época húmeda y 115 esporas /100 gr de suelo, en la época seca; la interacción entre estas bacterias y los HMA incrementan la fijación del nitrógeno debido a que interactúan positivamente en el mismo suelo (Perez, Rojas, & Montes, 2011).

Los resultados encontrados demuestran que los HMA tienden a asociarse a diferentes tipos de plantas como gramíneas o fabáceas; en el caso de las gramíneas, (Corpoica, 1999) encontraron en suelos con cobertura de *B. decumbens* un 75% de infección por HMA con promedio de 7 a 9 esporas por gramo de suelo. Del mismo modo, (Ávila, 2003) encontró que la inoculación con micorrizas arbusculares y cepas de *Bradyrhizobium* aumentaron la producción de semillas de Kudzu de manera significativa, mostrando dependencia a dichos microorganismos al superar la producción en el control.

Por este motivo, es posible que se reportaran mayores cantidades de HMA por gramo de suelo en los pastos asociados a la leguminosa, debido a la presencia de otros microorganismos que aumentaron la concentración de nutrientes en la zona radicular, por lo que se destaca el estímulo del rizobium y los HMA en el aprovechamiento de la fertilización química (Noda, 2009), además los HMA interactúan con una amplia diversidad de microorganismos del suelo en las raíces, en la rizosfera y en la masa del suelo (Perez, Rojas, & Montes, 2011).

Por otro lado, las pocas diferencias entre los factores evaluados pueden tener relación con la especificidad o preferencia de las plantas por comunidades de HMA (Perez, Rojas, & Montes, 2011) mencionan que algunas plantas pueden generar exudados como flavonoides y axinas los cuales permiten el reconocimiento planta-hongo y de esta manera aumentan el crecimiento y ramificación de las hifas.

Finalmente, estudios realizados sobre la dependencia de micorrizas en pastos forrajeros tropicales mostró que *B. decumbens* y *B. brizantha* son las especies más dependientes (Perez, Rojas, & Montes, 2011). Los mismos autores sostienen que las gramíneas tropicales son igual o más dependientes de las micorrizas que las especies de leguminosas cuando crecen en suelos con baja fertilidad.

La incorporación de HMA al suelo tiene como objetivo aumentar el área de influencia de las raíces y proporcionar nutrientes de forma asimilable para las plantas hospedadas; las hifas de las micorrizas incrementan el área de absorción y permiten explorar un mayor volumen de suelo que el que normalmente alcanzaría una raíz normal (CIENCIA ergo sum, 2007), (Agrosavia, 2013).

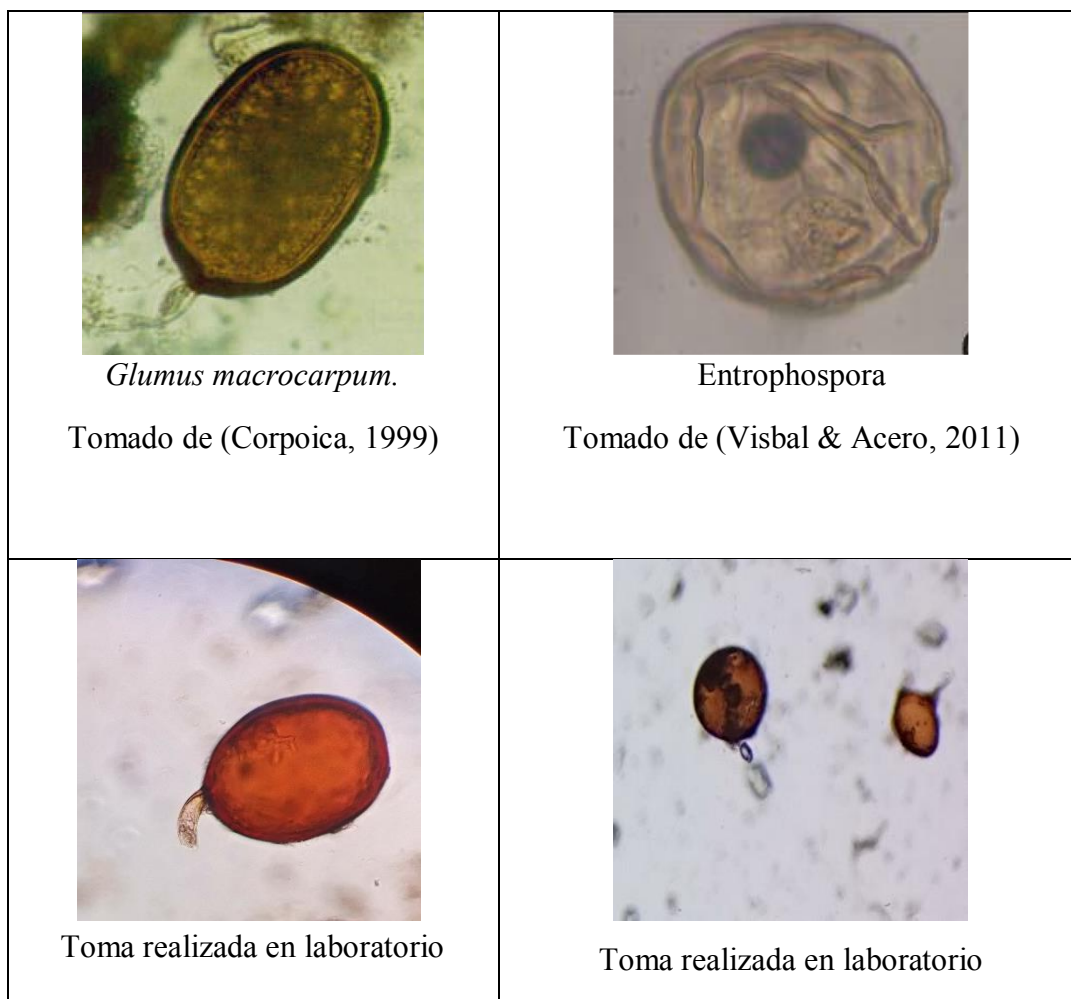
## **6.2 Efecto de diferentes dosis de Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) sobre el contenido de HMA**

Los resultados obtenidos mostraron una tendencia a incrementar la cantidad de esporas de HMA en el suelo cuando se realizaron las aplicaciones de cal, sin embargo, la respuesta de los HMA al pH del suelo son variables, encontrándose respuestas positivas de algunos HMA en pH ácidos y de otros en pH alcalinos (Clark, Zobel, & Zeto, 1999), así como también respuestas negativas o neutras.

Debido a que el pH influye sobre la solubilidad y fijación del fósforo, por lo que es posible que se vea afectada la función de los HMA (Perez, Rojas, & Montes, 2011), en suelos ácidos es necesario realizar correcciones de pH con productos como  $\text{CaCO}_3$  que reduce la acidez aumentando el pH (INPOFOS, 1997); en la localización del ensayo se encontró un  $\text{pH} < 4,5$ , por lo cual se realizan aplicaciones de cal periódicamente. En las parcelas evaluadas se evidenció que con las aplicaciones de cal D3 y D4 aumentó el número de esporas de HMA, esto concuerda con lo expuesto por (INPOFOS, 1997), quienes mencionan que la incorporación de cal estimula la actividad microbiana del suelo e incrementa la disponibilidad de varios nutrientes.

Por otro lado, algunos estudios realizados en suelos ácidos de Colombia muestran diversidad y abundancia de HMA, especialmente en los géneros *Acaulospora*, *Scutellospora* y *Entrophospora* (Perez, Rojas, & Montes, 2011), mientras que otros muestran una correlación positiva entre el pH y el número total de esporas del género *Glomus* y correlación negativa con los géneros *Entrophospora* y *Gigaspora* (Serralde & Ramirez, 2004); por lo anterior se puede mencionar que en el lugar del ensayo se encuentran diferentes géneros de micorrizas, las cuales se pueden o no adaptar bien a la acidez del suelo.

**Imagen 2.** Micorriza aislada en laboratorio comparada con estructura de micorriza del genero *Glumus macroscarpum* aislada en el departamento del Guaviare



Fuente: Elaboración Propia

En general, los contenidos de esporas encontrados en cada tratamiento fueron superior a 15,0 HMA por gramo de suelo. Esto es posible ya que según (Sylvia, Hammond, Bennett, Haas, & Linda, 1993), los HMA se adaptan bien al pH del suelo de su origen.

### 6.3 Efecto de la fertilización NPK sobre el contenido de HMA

Los resultados del análisis de varianza indicaron que la fertilización permitió obtener mayor número de HMA por gramo de suelo, especialmente la fertilización fosfatada. Esto se sustenta según (Lynch, 1990), quien menciona que la proliferación de las hifas de las micorrizas ocurre en

micro sitios con una concentración relativamente alta de nutrientes. Del mismo modo, (Thomson, Robson, & Abbott, 1991) citados por (CIENCIA ergo sum, 2007) encontraron que *Scutellospora calospora* concentró la colonización de raíces en sitios donde se aplicó P y disminuyó en donde no se realizaron aplicaciones. La presencia de micorrizas en el suelo depende en gran parte de la disponibilidad de elementos en la zona radicular de las plantas.

Los mayores contenidos de esporas micorrízicas se hallaron con aplicaciones de P. Con respecto a esto, (Safir & Duniway, 1991) mencionan que niveles moderados de P incrementan los niveles de infección por HMA, mientras que (Perez, Rojas, & Montes, 2011) reportan que altos y bajos contenidos de fósforo disminuyen el porcentaje de infección de las micorrizas.

Varios autores reportan que existe una relación entre las micorrizas y el fósforo presente en la solución del suelo, (Thomson, Clakson, & Brain, 1990) reportan que existen dos sistemas de transporte de fósforo en las micorrizas: el sistema I, es activo, dependiente de la fosforilación oxidativa y con capacidad limitada para el transporte y, el sistema II es una difusión facilitada del fósforo a través del plasmalema del hongo y con buena capacidad de transportar fósforo pero con baja afinidad por este elemento. Por este motivo, cualquier aumento en la capacidad del sistema I o II conducirá a un aumento en la toma de fósforo por el hongo (CIENCIA ergo sum, 2007).

La absorción del fósforo por las micorrizas depende también del género asociado al hospedero, (Pearson & Jakobsen, 1993) encontraron que hubo diferencias significativas en la absorción de este elemento en tres especies de HMA asociados a *Cucumis sativus* L. Este factor explica que en todas las parcelas aplicadas con la misma dosis de fósforo, el contenido de esporas sea diferente, ya que si se produce buena asimilación de este mineral, también aumentara la población de micorrizas en las raíces.



En un estudio realizado con roca fosfórica en plantas de trébol y Rye grass se encontró que las micorrizas no se desarrollaron en ausencia de la roca fosfórica, mientras que las plantas colonizadas con *Glomus tenuis* tuvieron mayor absorción e incrementaron su número (CIENCIA ergo sum, 2007).

Los resultados muestran que el tratamiento con Urea (N) presentó un número intermedio de esporas de HMA, no tan alto como los resultados con el fósforo y no tan bajos como los obtenidos con el potasio. Los altos contenidos de nitrógeno en el suelo tienen efectos negativos sobre el desarrollo de las micorrizas arbusculares y la estimulación del crecimiento de las plantas (Pérez, Rojas, & Montes, 2011). Sobre la colonización de micorrizas en pasto colosoana, (Pérez & Vertel, Evaluación de la colonización de micorrizas arbusculares en pasto *Bothriochloa pertusa* L. Camus, 2010) reportan que cuando se dan contenidos moderados de nitrógeno en el suelo se presentan altos porcentajes de colonización, es posible que el número intermedio de esporas se diera debido a la presencia de las plantas leguminosas, las cuales contienen altos contenidos de nitrógeno (Pérez & Fuentes, 2009).

Finalmente en cuanto al bajo número de esporas de HMA por gramo de suelo encontrados, este resultado coincide con los resultados obtenidos por (Peroza & Pérez, 2012), quienes encontraron niveles bajos de esporulación (0,28) y el 2% de colonización.

#### **6.4 Efecto de las pasturas\*fertilizantes sobre el contenido de HMA**

La fertilización fosfatada en presencia *B. decumbens* asociado a *P. phaseoloides* (B2) permitió obtener mejores resultados que *B. decumbens* (B1); en contraste la fertilización potásica en presencia de B1 y B2 arrojaron números de esporas bajos. Estos resultados concuerdan con un estudio realizado por (L.Ojeda, E.Furrazola, & C.Hernandez, 2014) en el que identificaron la

presencia de leguminosas en suelos ácidos, encontraron contenidos bajos de Pi y presentan micorrizas nativas, además reconocieron los impactos que causa el uso de fertilización fosfatada y nitrogenada, los cuales influyen significativamente en la permanencia y colonización de la comunidad micorrízica; así mismo ( Satizabal & Rehman , 1987) afirman que en suelos oxisoles la aplicación de dosis de P equivalentes a 40 kg ha', cooperaron mutuamente con la estimulación del crecimiento, nodulación y nutrición de la leguminosa, y dosis superiores de P tienden a afectar negativamente la productividad de las plantas micorrizadas, aunque no la nodulación de las mismas.

El uso de gramíneas y leguminosas con fertilización fosfatada estimula la movilidad de HMA, dando la capacidad a la planta hospedera de obtener un mayor tamaño y producción de semillas (Garzon, 2016),esto asociado a la capacidad que tienen las leguminosas para realizar la simbiosis con *Rhizobium*, bacteria nitrificante que promueve el crecimiento de la leguminosa ( Satizabal & Rehman , 1987); finalmente, en un artículo escrito por (Zvietcovich , Nieves, Claveri , & Miguel, 1987) en el que se identificó la interacción entre micorrizas y *Rhizobium*, se comprobó la estimulación de la colonización y multiplicación micorrícica por cepas de *Rhizobium*.

#### **6.5 Efecto de diferentes Dosis de Cal\*Pastura sobre el contenido de HMA en pasturas de *B. decumbens*.**

La cal en los suelos permite corregir la acidez y puede mejorar la capacidad de intercambio catiónico al ocasionar el lavado del  $Al^{+3}$ , disminuir el pH y aportar Ca a la solución del suelo, sin embargo no se encontró que hubiera significancia en el número de esporas de HMA entre B1 y B2, pero sí en las dosis de cal, aumentando con las dosis más altas D3 y D4.

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son microorganismos del suelo que viven simbióticamente con las raíces de las pasturas, facilitándole a la planta la toma de nutrientes de baja disponibilidad o de poca movilidad en el suelo, principalmente del P, deficiente en suelos ácidos tropicales, principalmente cuando se aplica cal, mejorándose su funcionamiento en el suelo HMA (Perez, Rojas, & Montes, 2011). Esta afirmación sustenta de manera concreta como a mayores dosis de cal D3 y D4 tanto en B1 como en B2 se logró un mayor número de HMA, siendo que las gramíneas tropicales son igual o más dependientes de las micorrizas que las especies de leguminosas cuando crecen en suelos de baja fertilidad (CIAT, 1985).

## 7. CONCLUSIONES

- No se dieron diferencias entre los tipos de pasturas de *B. decumbens* sola y en asocio con la leguminosa *P. phaseoloides*, sin embargo, es una práctica que resulta beneficiosa para la producción de forrajes, además de mejorar la fertilidad del suelo debido, por un lado, a la facultad de las leguminosas que establecen relaciones simbióticas con bacterias capaces de fijar nitrógeno atmosférico como el *Rizhobium*, y por otro lado, a la facilidad con que se genera la simbiosis entre *B. decumbens* y los HMA, como se pudo comprobar por el efecto del factor tipo de pastura y fertilizante.
- En los tratamientos de *B. decumbens* y leguminosa con la fertilización fosfatada los valores medios del número de HMA fueron mayores que la nitrogenada y potásica, esto debido a que la limitación de fósforo en el suelo debe ser compensada por el sistema radicular de las plantas y potenciada por la presencia de las micorrizas arbusculares que aumentan su nivel de movilización.

- Las micorrizas son capaces de solubilizar el fósforo inmóvil en el suelo por acción de las leguminosas gracias al rizobium que fijan nitrógeno atmosférico como fue evidente en la interacción de B2\*P, la asociación de la leguminosa *P. phaseoloides* con *B. decumbens* puede disminuir los gastos en fertilización de los potreros, además de reducir la acidez causada por la fertilización química.
- Los HMA por las aplicaciones de cal en forma de  $\text{CaCO}_3$  (carbonato de calcio) no se vieron influenciados, pero sí cuando estuvieron interactuando con las aplicaciones del fertilizante a base de P, y con la dosis media D3 y más alta de cal D4, sin diferencias entre las pasturas B1 y B2. Se recomienda la dosis media de cal D3 y fertilización con SPT, ya que se reduce la cantidad de enmienda a aplicar.
- La fertilización química con SPT o P en asociación con pastura de *B. decumbens* + leguminosa permitió mejorar las relaciones simbióticas en la zona radicular entre las plantas y los HMA, alcanzándose un máximo provecho del potencial microbiológico del suelo.

## Referencias Bibliográficas

- Satizabal , J., & Rehman , S. (1987). INTERACCION MICORRIZA VESICULO-ARBUSCULAR, Rhizobium-LEGUMINOSA EN UN OXISOL DE LOS LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA. *Acta agronomica*, 7-21.
- Agrosavia. (2013). Influencia de las coberturas en cultivos de citricos sobre los hongos formadores de micorrizas arbusculares en Oxisoles del piedemonte llanero colombiano. *Corpoica Ciencia y Tecnologia Agropecuaria*, 53-65.
- Àvila, U. (2003). *Efecto de Bradyrhizobium sp. y micorrizas vesiculo arbusculares en la producciòn de semillas de Pueraria phaseoloides*. Pastos y Forrajes.
- Boby, V., Balakrishna, A., & Bagyaraj, D. (2008). Interaction beetwen Glomus mosseae and soil yeasts on growth and nutrition of cowpea. *Microbiological research*, 167-176.
- CIAT. (1981). Sintomas de deficiencia de macronutrientes y nutrimentos secundarios en pastos tropicales. *CIAT*.
- CIAT. (1984). *Microbiologòa de suelos en programa de pastos tropicales* . Cali, Colombia: CIAT.
- CIENCIA ergo sum. (2007). Micorrizas Arbusculares. *CIENCIA ergo sum*, 300-307.
- Clark, C., Zobel, R., & Zeto, S. (1999). Arbuscular mycorrhizal fungus isolates on mineral acquisition by of Panicum virgatum in acid soil. . *Biologia y fertilidad del suelo*, 1757-1763.
- Corpoica. (1999). *LAS MICORRIZAS COMO ESTRATEGIA DE MEJORAMIENTO NUTRICIONAL DE PASTURAS Y ESPECIES FRUTALES EN EL DEPARTAMENTO DEL GUAVIARE*. Villavicencio, Meta: PRONATTA.

- Corpoica. (2002). *Atlas de los sistemas de producción bovina; Modulo Orinoquia y Amazonia*. Villavicencio: Corpoica.
- Corpoica. (2015). Producción de carne en pasturas irrigadas y fertilizadas de Brachiaria híbrido cv. Mulato II en el valle del Sinú. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 131-138.
- Farias, L., & González, G. (2005). ; *Biología y Regulación Molecular de la Micorriza Arbuscular; Avances de Investigación Agropecuaria*. Tecoman, Mexico: Universidad de Colima.
- Ferrol, N., Barea, J., & Azcon, C. (2002). Mechanisms of nutrient transport across interfaces in arbuscular mycorrhizas. . *Plant Soil* , 231 - 237.
- Flores, C., Gonzales, P., Arzola, J., & Morgan, O. (2010). Efecto de la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares nativos y una especie seleccionada en los pastos Brachiaria decumbens vc. Basilisk y Panicum maximun vc. Mombaza. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 307-313.
- Garzon, L. P. (2016). IMPORTANCIA DE LAS MICORRIZAS ARBUSCULARES (MA) PARA UN USO SOSTENIBLE DEL SUELO EN LA AMAZONIA COLOMBIANA. *Luna Azul*, 217-234.
- IGAC. (12 de septiembre de 2018). *Instituto geográfico agustin codazzi*. Obtenido de [www.igac.gov.co](http://www.igac.gov.co)
- INPOFOS. (1997). *Manual internacional de fertilidad de suelos*.
- L.Ojeda, E.Furrazola, & C.Hernandez. (2014). Micorrizas arbusculares en leguminosas de la empresa pecuaria El Tablon,Cuva. *Pastos y Forrajes*, 392-398.

- Lynch, J. (1990). *The Rhizosphere*. New York, USA: John Wiley and Sons.
- Marschner, H., & Dell, B. (1994). "Nutrient Uptake in Mycorrhizal Symbiosis", en Robson. Management of mycorrhizae in Agriculture, Horticulture and Forestry.
- Noda, Y. (2009). *Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos*. Matanzas, Cuba.
- Pearson, J., & Jakobsen, I. (1993). Symbiotic exchange of carbon and phosphorus between cucumber and tree arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol*, 124.
- Perez, A., & Vertel, M. (2010). Evaluación de la colonización de micorrizas arbusculares en pasto *Bothriochloa pertusa* (L) A. Camus. *Rev.MVZ Córdoba*, 2165-2174.
- Pérez, C., & Fuentes, J. (2009). Regresión logística en la evaluación de la esporulación de micorrizas en pasto *Bothriochloa pertusa* (L) A. Camus. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 1-18.
- Pérez, C., & Vertel, M. (2010). Evaluación de la colonización de micorrizas arbusculares en pasto *Bothriochloa pertusa* L. Camus. *MVZ Cordoba*.
- Pérez, C., Espitia, D., & Martínez, M. (2012). Diversidad de micorrizas arbusculares en agroecosistemas de pasturas del departamento de Sucre .
- Perez, c., Rojas, S., & Montes, V. (2011). Hongos formadores de micorrizas arbusculares: Una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de predera en el Caribe colombiano. *Colombia ciencia animal*.

- Peroza, V., & Pèrez, A. (2012). Micorrizas arbusculares asociadas al pasto angleton (*Dichanthium aristatum* Benth) en fincas ganaderas del municipio de Tolú, Sucre-Colombia. *Revista MVZ Còrdiba*, 3362-3369.
- Riveros, A. (1983). La Orinoquia Colombiana. *Academia Geogràfica de Colombia, Sociedad de Ciencias Geogràficas*.
- Romero, C., & Màrquez, O. (2002). Efecto de la fertilizaciòn fosfatada en pastos *Brachiaria humidicola* sobre al pproducciòn lactea de vacas doble propòsito. *Revista Científica Vol. VII*.
- Safir, G., & Duniway, J. (1991). *Evaluation of plant response to colonization by vesicular - arbuscular mycorrhizal fungi, environmental variables*. Florida.
- Sànchez, P., & Salinas, J. (2008). Suelos àcidos. Estrategias para su manejo con bajos insumos en America tropical. *Sociedad Colombiana de las Ciencias del Suelo*, 41 - 45.
- Serralde, A., & Ramirez, M. (2004). Analisis de poblaciones de micorrizas en maiz (*Zea mays*) cultivado en suelos acidos bajo defierentes tratamientos agronomicos. *Revista Corpoica*, 31-40.
- Silva, A., Mogollòn, A., & Delgado, H. (2018). Response or arbuscular mycorrhizal fungi and soil chemical properties to *Brachiaria decumbens* grass and other production factors. *Soil Research*, 32.
- Sylvia, D., Hammond, L., Bennett, J., Haas, J., & Linda, S. (1993). Field response of maiza to a VAM fungus and water management. *Agronomia*, 193-198.



- Thomson, B., Clakson, D., & Brain, P. (1990). *Kinetics of phosphorus uptake by the Germ-tubes of vesicular mycorrhizal fungus Gigaspora margarita.*
- Thomson, B., Robson, A. D., & Abbott, L. (1991). *Soil Mediated Effects of Phosphorus Supply on The Formation or Mycorrhizas by Scutellospora calospora (Nicol And Gerd) Walker and Sanders on Subterranean Clover.*
- USDA. (2014). *Soil Survey Manual.* Washington DC: USDA.
- Visbal, P., & Acero, G. (2011). Relación entre los caracteres de las micorrizas arbusculares nativas con las propiedades físico-químicas del suelo y bromatología del pasto estrella en ganadería de carne. *Revista Científica UDO Agrícola*, 134-141.
- West, C., & Mallarino, A. (1996). *Nitrogen transfer from legumes to grasses. In: Proceeding of Symposium "Nutrient cycling in forage system".* Columbia, missouri.
- Yong, G., Smith, A., & Smith, S. (2003). *Phosphorus efficiencies and responses or barley (Hordeum vulgare L.) to arbuscular Mycorrhizal Fungi grown in Highly Calcareous soil, mycorrhiza.*
- Zvietcovich, G., Nieves, G., Claveri, A., & Miguel, L. (1987). Estudio de la asociación simbiótica Rhizobium -leguminosa - hongo micorrítico para la producción de inoculante doble de uso agrícola en Arequipa. *Manejo Ecologico de Suelos*, 57-66.